

文章编号: 1008-2786-(2018)2-194-12

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000315

## 基于综合自然区划的天山区域气温变化研究

程新宇杰<sup>1,2</sup>, 高 路<sup>1,2,3,4\*</sup>

(1. 福建师范大学 地理研究所, 福州 350007; 2. 福建师范大学 地理科学学院, 福州 350007;

3. 福建省陆地灾害监测评估工程技术研究中心, 福州 350007;

4. 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福州 350007)

**摘 要:** 根据天山山区综合自然区划, 选取 14 个代表性气象站点, 利用线性趋势分析、Mann-Kendall 突变检验、R/S 分析方法对天山四大自然地带 14 个自然区 1960—2013 年气温变化特征及未来趋势进行了分析, 结果表明: 天山山区 20 世纪 90 年代来气温呈上升趋势, 在 90 年代末发生突变, 21 世纪以来增温显著。四大自然地带气温增加速率不尽相同, 其增速从大到小依次为伊犁谷地温带荒漠自然地带、天山北坡中温带荒漠自然地带、天山南坡暖温带荒漠自然地带、巴音布鲁克寒温带草原—草甸自然地带。四大自然地带都表现为日最低气温增幅大于日平均气温和日最高气温。从季节上看, 天山山区冬季增温主要源于日最低气温的升高。根据 Hurst 指数, 未来一段时间内, 天山伊犁谷地、天山南坡和巴音布鲁克气温将会继续上升, 尤其是日最低气温上升会更加明显, 它的升高对日平均气温的升高贡献显著。天山北坡秋季和冬季升温趋势将可能放缓或者呈降温趋势。

**关键词:** 气温; 自然区划; 日最高气温; 日最低气温; 趋势变化; 天山山区

**中图分类号:** P466

**文献标志码:** A

全球气候变化一直是公众关注的焦点, 随着全球变暖和极端气候事件的加剧, 分析和预测区域气候变化具有重要的现实需求。IPCC 第 5 次评估报告也指出, 全球地表持续升温, 1880—2012 年全球平均温度已升高  $0.85\text{ }^{\circ}\text{C}$  [ $0.65\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 1.06\text{ }^{\circ}\text{C}$ ], 过去 50 多年, 每 10 a 地表温度的增暖幅度高于 1850 年以来的任何时期<sup>[1]</sup>。全球干旱半干旱区是近 100 年来增温最显著的地区, 特别是北半球中纬度干旱半干旱区增温是全球陆地年平均增温的 2~3 倍, 对全球陆地平均增温的贡献率超过 50%<sup>[2]</sup>。在这些干旱半干旱区的复杂地形区, 生态环境十分脆弱, 尤其是高山地带孕育着丰富的现代冰川, 冰川融水又是我国众多大江大河的重要补给, 因此全球气候变化在复杂地区尤为敏感。

天山因其特殊的地理位置和复杂的地形对我国西北地区乃至全国气候变化和生态环境有着极其重要的影响。近年来, 有众多学者对天山气候变化进行了研究<sup>[3]</sup>。张正勇<sup>[4]</sup>对天山山区气候变化区域差异及突变特征进行了分析, 指出天山北坡和南坡以及天山东段的气温变化存在明显的区域和季节差异。赵培培<sup>[5]</sup>根据日最高气温, 日最低气温对天山极端气温变化特征进行了分析, 发现天山极端气温存在着区域差异和周期变化。普宗朝<sup>[6]</sup>对天山气候暖湿变化进行了研究。曹亚娟<sup>[7]</sup>和蒲红铮<sup>[8]</sup>都分析天山南坡和北坡气温变化的差异。这些研究从不同层面揭示了天山气候变化的现状, 也为人们进一步研究提供了良好的基础和宝贵经验。以往天山气温变化研究, 也存在一些不足, 主要体现在两个方

收稿日期(Received date): 2017-04-11; 改回日期(Accepted date): 2017-09-01

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(41501106)。[National Natural Science Foundation of China (41501106).]

作者简介(Biography): 程新宇杰(1991-), 男, 浙江杭州人, 硕士研究生, 主要研究方向: 区域气候变化。[CHENG Xinyujie (1991-), male, M. Sc. candidate, research on regional climate change.] E-mail: chengxinyujie@163.com

\* 通讯作者(Corresponding author): 高路(1983-), 男, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 研究方向: 水文气象与自然灾害。[GAO Lu (1983-), male, Ph. D., associate professor, research on hydrometeorology and natural disasters.] E-mail: l.gao@foxmail.com

面,一是区域没有区分,只是笼统地把天山划分为南坡和北坡,或者着重研究社会经济较发达的天山北麓地区。天山山地属于我国西北干旱区的一个自然单元,但是因其地形复杂,在天山内部还存在半湿润、半干旱、和干旱区域。因此简单地按温度和水分因子划分不能真正地反映自然地域的实质。作为中小区域的自然综合体,伊犁谷地、天山南坡和北坡、巴音布鲁克盆地在气候、水文、土壤、植被等主要特征方面都有很大的差异。二是日平均气温关注较多,而日最高气温和日最低气温研究较少。众多研究表明,近 50 a 中国气候最高温略有增加,最低温度显著增温,且极端最低温度的显著增高是日平均气温增高的主要贡献因素<sup>[9-12]</sup>。

基于此,综合自然区划以气候、土壤植被等地理相关关系为基础,将天山划分为四大自然地带,在自然地带以下划分出 14 个自然区,更能体现出天山山区内部的空间差异。分别选取自然区代表性站点,运用多种统计方法系统分析天山山区日最高/低气温和日平均气温的变化特征及未来趋势,以期为天山山区社会经济的可持续发展提供可靠的气候变化背景。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究区概况

中国境内的天山山脉横亘于新疆维吾尔自治区中部,西起中国于吉尔吉斯斯坦边界,东至哈密市以东星星峡戈壁,全长 1700 km,占天山山系总长度的 2/3 以上,宽度一般为 250 ~ 350 km,山脊平均海拔高度为 4000 m(图 1)。胡汝骥(2004)以气候、土壤植被等地理相关关系为基础,采用自然地带和自然区对天山进行了综合自然区划,将天山划分为四大自然地带和 14 个自然区(表 1)<sup>[13]</sup>。伊犁谷地温带

荒漠自然地带(简称伊犁谷地)于天山最西段,海拔 1500 ~ 2500 m,地势东高西低,向西敞开,受西风影响明显,降水较多,加上适宜的温度形成了伊犁谷地温带荒漠草原自然地带。天山北坡中温带荒漠自然地带(简称天山北坡)和天山南坡暖温带荒漠自然地带(简称天山南坡)因热量条件和水分条件不同,形成了两个截然不同的自然地带。人类活动影响程度也有明显差异,天山北坡土地和矿产资源丰富,社会经济活动和城镇化水平也高于天山南坡。巴音布鲁克寒温带草原-草甸自然地带(简称巴音布鲁克地区)位于天山山地腹地,处于中天山东部,受山地效应制约,年均温在  $-4.7^{\circ}\text{C}$ ,最高气温  $28.1^{\circ}\text{C}$ ,最低气温  $-48^{\circ}\text{C}$ ,有“冷湖”之称。由于四周高山环抱,盆地冬季有逆温层,中山地带则相对温暖,有广泛的亚高山草原与草甸分布,形成了寒温带草原自然地带<sup>[13]</sup>。

### 1.2 数据来源

根据天山四大自然地带和 14 个自然区分布,每个自然区分别选择一个代表性气象站点(共计 14 个站点)的日气温数据。数据来源为国家气象信息中心(<http://www.nmic.gov.cn/>)中国气象科学数据共享平台。考虑到气象资料的非一致性问题,同时为保证气象数据的完整性和连续性,资料选取的时间序列为 1960 年 1 月 1 日到 2013 年 12 月 31 日。利用算术平均法对逐日的日平均气温、日最高气温、日最低气温进行统计得出逐月、逐年均温和日最高、最低气温。在资料统计中,结合天山山区实际情况,按 3—5 月为春季、6—8 月为夏季、9—11 月为秋季、12 月至来年 2 月为冬季进行四季划分。

### 1.3 研究方法

运用线性倾向分析 1960—2013 年天山的气温变化趋势。运用 Mann-Kendall<sup>[14]</sup>方法分析突变情况。Mann-Kendall 的检验方法是非参数方法,其优

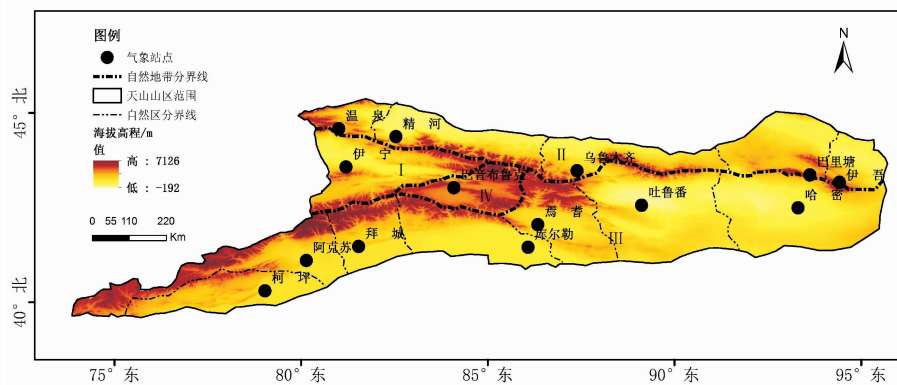


图 1 研究区及气象站点分布

Fig. 1 Location of meteorological stations in Tianshan Mountains

表 1 天山自然地带、自然区及气象站资料

Tab. 1 Information for natural zones and meteorological stations in Tianshan Mountains

自然地带	自然区	气象站	观测站海拔/m	观测站纬度/°	观测站经度/°
I 伊犁谷地温带荒漠自然地带	伊犁谷地自然区	伊宁	662.5	43.95	81.33
II 天山北坡中温带荒漠自然地带	博尔塔谷地自然区	温泉	1357.8	44.97	81.02
	精河-昌吉南部山地自然区	精河	320.1	44.62	82.90
	乌鲁木齐-木垒南部山地自然区	乌鲁木齐	935.0	43.78	87.65
	巴里坤-三塘湖盆地自然区	巴里塘	1677.2	43.60	93.05
	伊吾-淖毛湖盆地自然区	伊吾	1728.6	43.27	94.70
III 天山南坡暖温带荒漠自然地带	哈密盆地自然区	哈密	737.2	42.82	93.52
	吐鲁番盆地自然区	吐鲁番	195.1	42.93	89.20
	焉耆盆地自然区	焉耆	1055.3	42.08	86.57
	库尔勒-库车北部山地自然区	库尔勒	931.5	41.75	86.13
	拜城盆地自然区	拜城	1229.2	41.78	81.90
	天山南脉及托什干谷地自然区	阿克苏	1103.8	41.16	80.23
	柯坪-哈尔峻盆地自然区	柯坪	1161.8	40.50	79.05
IV 巴音布鲁克寒温带草原-草甸自然地带	巴音布鲁克(尤尔都斯)盆地自然区	巴音布鲁克	2458.0	43.03	84.15

点是不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,更适用于类型变量和顺序变量,计算也比较简便。同时运用滑动 t 检验法进行检验,可以在 Mann-Kendall 方法  $UF_k$  和  $UB_k$  曲线交点位于置信区间以外或出现多个交点时,对突变点进一步确认。

通过 R/S 分析方法<sup>[15]</sup>预测未来天山气温变化情况。R/S 分析法,也称重标极差分析法(Rescaled Range Analysis),是水文学家 Hurst 在大量实证研究的基础上提出的一种方法,近些年该方法在分形研究中得到了许多应用,也在气候预测方面得到了很好的运用。

## 2 结果分析

### 2.1 气温年际变化趋势

由图 2 可知,天山四大自然地带近 54 年来气温均呈现波动上升趋势。从年际上看,天山山区年均气温自 1960 年以来在 60 年代初期偏高,随后小幅波动变化,1984—1985 年期间经历了一个年均气温异常偏低的时段,而后一直在波动起伏中上升,尤其是 1995 年以后升温趋势更加明显,日最高气温(图 3)和日最低气温(图 4)也表现出同样的特点。从季节上(表 2)看绝大部分自然区春季、秋季和冬季气温上升趋势要大于夏季,尤其是冬季增温最为显著,日最低气温表现尤为明显。从空间上看,伊犁谷地地区气温倾向率最大,其次是天山北坡和南坡地区,

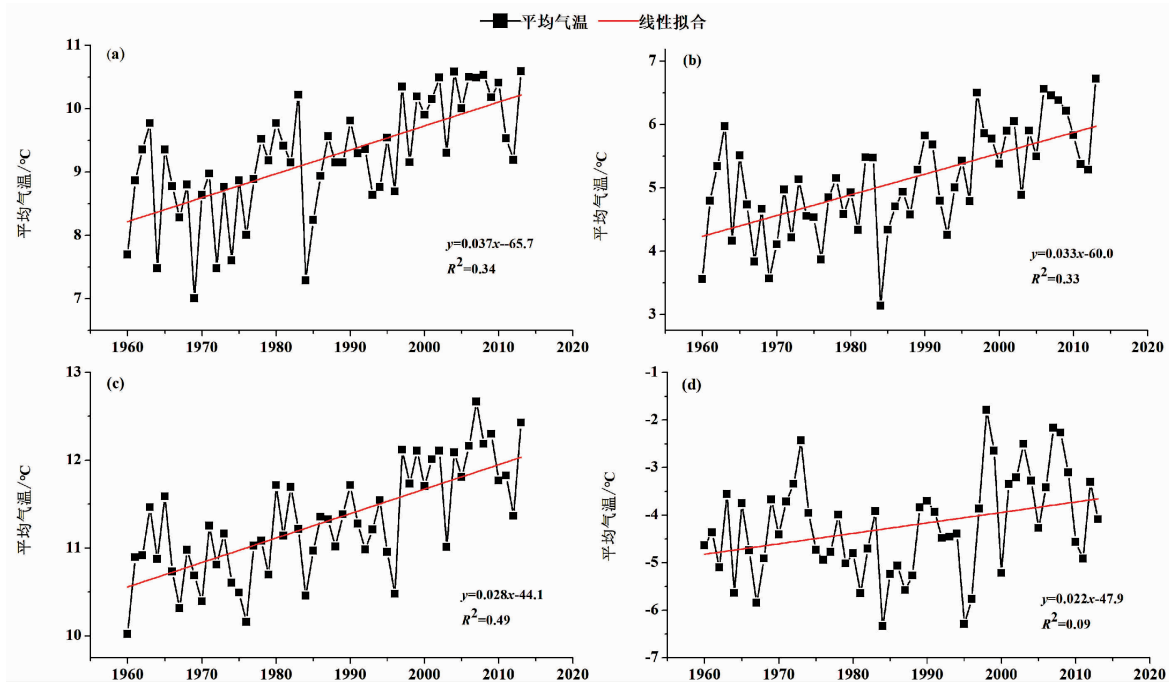
巴音布鲁克气温倾向率最小,这说明在全球变暖的大背景下,天山各个自然地带增温速率存在明显的区域差异。从日平均均温、日最高气温(表 3)和日最低气温(表 4)差异来看,各个自然地带均表现为日最低气温增幅显著高于日平均气温和日最高气温,相比之下日最高气温增幅最不明显,这说明日最低气温升高是日平均气温升高的主要贡献因素。具体分自然地带来看:

#### (1) 伊犁谷地自然地带

伊犁谷地气温总体呈现上升趋势,伊宁站的年均气温倾向率达到  $0.38\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,春夏秋冬四个季节分别为  $0.41\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.34\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.32\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.45\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。冬春季气温上升明显,夏季和秋季增温幅度略小。根据表 3 和表 4 来看,春季日最高气温增幅依然较大,达到  $0.46\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,而冬季日最高气温增幅较小( $0.42\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ),日最低气温增幅较大( $0.70\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )。这表明伊犁谷地不同季节气温上升不同步,冬春季气温上升对全年气温增高有直接的影响。

#### (2) 天山北坡自然地带

从表 2 可知,天山北坡五大自然区气温均呈上升趋势,但相互之间存在明显差异。对于日平均气温,巴里坤-三塘湖盆地自然区(巴里塘)增幅最大,气温倾向率达到  $0.64\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,高于天山北坡整体( $0.33\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )增温速率,而博尔塔谷地自然区(温泉)和伊吾-淖毛湖盆地自然区(伊吾)气温增



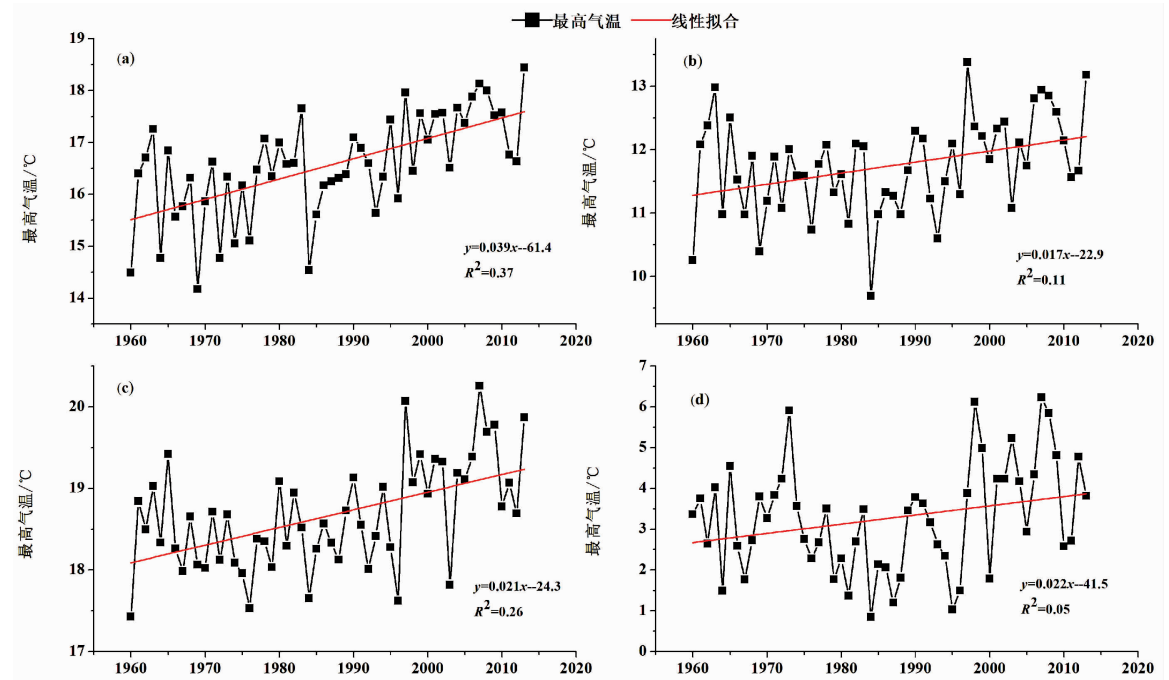
\* 所有站点都已通过0.01置信水平检验

图2 天山各自然地带日平均气温倾向率(℃/10 a)

(a. 伊犁谷地; b. 天山北坡; c. 天山南坡; d. 巴音布鲁克地区)

Fig. 2 Trend rates of daily average temperature in natural zones of Tianshan Mountains (℃/10 a)

(a. Ili valley; b. North slope of Tianshan Mountain; c. South slope of Tianshan Mountain; d. Bayanbulak)



\* 所有站点都已通过0.01置信水平检验

图3 天山各自然地带日最高气温倾向率(℃/10 a)

(a. 伊犁谷地; b. 天山北坡; c. 天山南坡; d. 巴音布鲁克地区)

Fig. 3 Trend rates of daily maximum temperature in natural zones of Tianshan Mountains (℃/10 a)

(a. Ili valley; b. North slope of Tianshan Mountain; c. South slope of Tianshan Mountain; d. Bayanbulak)

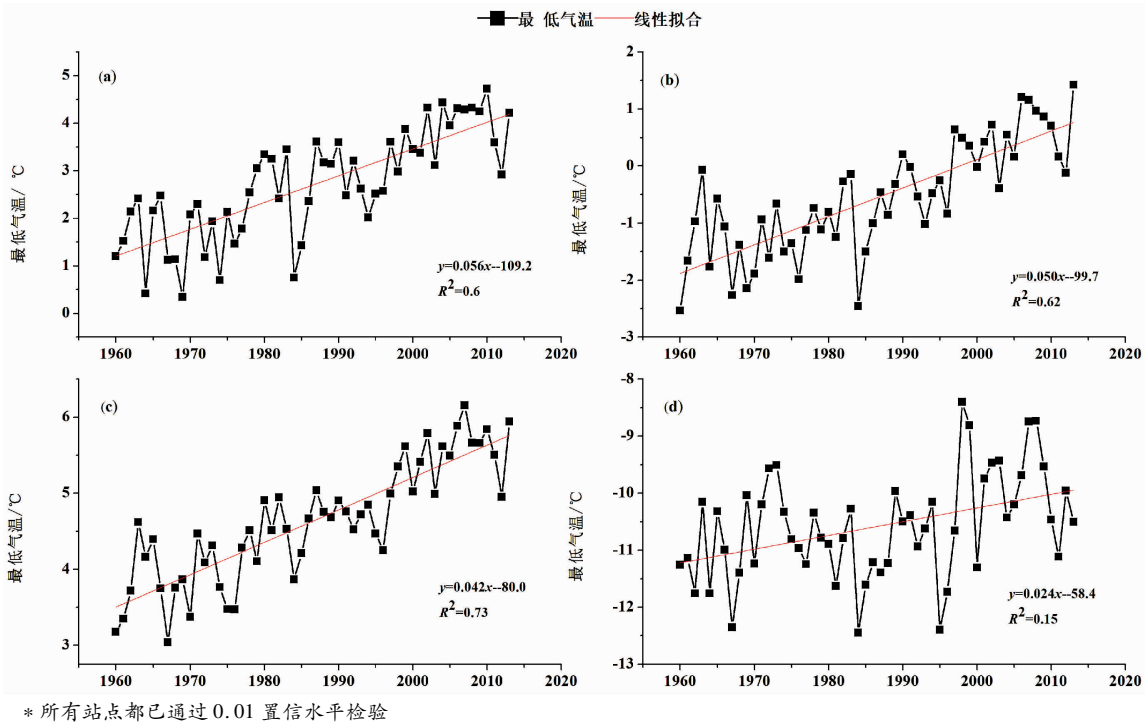


图4 天山各自然地带日最低气温倾向率(℃/10 a)

(a. 伊犁谷地; b. 天山北坡; c. 天山南坡; d. 巴音布鲁克地区)

Fig.4 Trend rates of daily minimum temperature in natural zones of Tianshan Mountains (℃/10 a)

(a. Ili valley; b. North slope of Tianshan Mountain; c. South slope of Tianshan Mountain; d. Bayanbulak)

表2 天山各自然地带、自然区日平均气温变化特征(℃/10 a)

Tab.2 Daily mean temperature changes in natural zones of Tianshan Mountains (℃/10 a)

自然地带	自然区	气象站	年际	春	夏	秋	冬
I 伊犁谷地温带荒漠自然地带	伊犁谷地自然区	伊宁	0.38	0.41	0.34	0.32	0.45
II 天山北坡中温带荒漠自然地带	博尔塔谷地自然区	温泉	0.20	0.08	-0.05	0.29	0.49
	精河-昌吉南部山地自然区	精河	0.34	0.34	0.33	0.39	0.31
	乌鲁木齐-木垒南部山地自然区	乌鲁木齐	0.21	0.09	-0.20	0.32	0.63
	巴里坤-三塘湖盆地自然区	巴里塘	0.64	0.53	0.70	0.68	0.64
	伊吾-淖毛湖盆地自然区	伊吾	0.25	0.25	0.27	0.32	0.18
III 天山南坡暖温带荒漠自然地带	哈密盆地自然区	哈密	0.18	0.27	0.10	0.07	0.31
	吐鲁番盆地自然区	吐鲁番	0.47	0.37	0.15	0.59	0.76
	焉耆盆地自然区	焉耆	0.31	0.29	0.20	0.36	0.41
	库尔勒-库车北部山地自然区	库尔勒	0.30	0.28	0.27	0.25	0.40
	拜城盆地自然区	拜城	0.25	0.22	0.12	0.19	0.49
	天山南脉及托什干谷地自然区	阿克苏	0.43	0.39	0.36	0.48	0.48
	柯坪、哈尔峻盆地自然区	柯坪	0.05	0.11	-0.22	0.03	0.28
IV 巴音布鲁克寒温带草原-草甸自然地带	巴音布鲁克(尤尔都斯)盆地自然区	巴音布鲁克	0.22	0.17	0.26	0.33	0.12

注:所有数据均通过了0.01 置信水平检验。

幅略小,分别为0.20℃/10 a和0.25℃/10 a。四季中气温倾向率均以巴里坤-三塘湖盆地自然区(巴里塘)最大,而伊吾-淖毛湖盆地自然区(伊吾)气温增幅则较低,温泉站和乌鲁木齐站夏季日平均

气温表现为下降趋势。从日最高气温和日最低气温来看,巴里坤-三塘湖盆地自然区(巴里塘)和精河自然区气温增幅较大,且日最低气温增幅更为明显,分别达到0.97℃/10 a和0.49℃/10 a,后者的增

表 3 天山各自然地带、自然区日最高气温变化特征(℃/10 a)  
Tab. 3 Daily maximum temperature changes in natural zones of Tianshan Mountains (℃/10 a)

自然地带	自然区	气象站	年际	春	夏	秋	冬
I 伊犁谷地温带荒漠自然地带	伊犁谷地自然区	伊宁	0.39	0.46	0.31	0.39	0.42
II 天山北坡中温带荒漠自然地带	博尔塔谷地自然区	温泉	0.01	-0.06	-0.33	0.07	0.36
	精河-昌吉南部山地自然区	精河	0.29	0.32	0.39	0.40	0.05
	乌鲁木齐-木垒南部山地自然区	乌鲁木齐	0.05	-0.01	-0.39	0.15	0.47
	巴里坤-三塘湖盆地自然区	巴里塘	0.27	0.23	0.32	0.32	0.20
	伊吾-淖毛湖盆地自然区	伊吾	0.26	0.24	0.32	0.32	0.15
III 天山南坡暖温带荒漠自然地带	哈密盆地自然区	哈密	0.29	0.30	0.25	0.32	0.30
	吐鲁番盆地自然区	吐鲁番	0.25	0.29	0.17	0.32	0.23
	焉耆盆地自然区	焉耆	0.14	0.14	0.23	0.25	-0.05
	库尔勒-库车北部山地自然区	库尔勒	0.20	0.21	0.23	0.25	0.11
	拜城盆地自然区	拜城	0.21	0.22	0.22	0.19	0.22
	天山南脉及托什干谷地自然区	阿克苏	0.27	0.28	0.31	0.35	0.16
	柯坪、哈尔峻盆地自然区	柯坪	0.14	0.17	-0.04	0.25	0.18
IV 巴音布鲁克寒温带草原-草甸自然地带	巴音布鲁克(尤尔都斯)盆地自然区	巴音布鲁克	0.23	0.24	0.22	0.36	0.08

注:所有数据均通过了 0.01 置信水平检验。

表 4 天山各自然地带、自然区日最低气温变化特征(℃/10 a)  
Tab. 4 Daily minimum temperature changes in natural zones of Tianshan Mountains (℃/10 a)

自然地带	自然区	气象站	年际	春	夏	秋	冬
I 伊犁谷地温带荒漠自然地带	伊犁谷地自然区	伊宁	0.56	0.51	0.60	0.47	0.70
II 天山北坡中温带荒漠自然地带	博尔塔谷地自然区	温泉	0.45	0.27	0.31	0.49	0.76
	精河-昌吉南部山地自然区	精河	0.49	0.48	0.46	0.47	0.55
	乌鲁木齐-木垒南部山地自然区	乌鲁木齐	0.36	0.18	-0.03	0.42	0.87
	巴里坤-三塘湖盆地自然区	巴里塘	0.97	0.82	1.06	0.93	1.06
	伊吾-淖毛湖盆地自然区	伊吾	0.24	0.24	0.17	0.30	0.24
III 天山南坡暖温带荒漠自然地带	哈密盆地自然区	哈密	0.20	0.31	0.13	0.13	0.27
	吐鲁番盆地自然区	吐鲁番	0.86	0.77	0.49	0.99	1.19
	焉耆盆地自然区	焉耆	0.51	0.50	0.32	0.52	0.72
	库尔勒-库车北部山地自然区	库尔勒	0.38	0.32	0.40	0.29	0.54
	拜城盆地自然区	拜城	0.41	0.31	0.31	0.35	0.70
	天山南脉及托什干谷地自然区	阿克苏	0.59	0.54	0.52	0.60	0.71
	柯坪、哈尔峻盆地自然区	柯坪	0.13	0.17	-0.21	0.11	0.44
IV 巴音布鲁克寒温带草原-草甸自然地带	巴音布鲁克(尤尔都斯)盆地自然区	巴音布鲁克	0.24	0.09	0.35	0.36	0.16

注:所有数据均通过了 0.01 置信水平检验。

温明显与城市发展密切相关。整体上天山北坡冬季和秋季日最高气温和日最低气温增幅较大,巴里坤-三塘湖盆地自然区(巴里塘)四个季节日最低气温增温都十分明显。

(3)天山南坡自然地带

天山南坡的七大自然区 1960—2013 日平均气温倾向率在 0.05℃/10 a~0.47℃/10 a,各自然区均表现为增温趋势,其中吐鲁番盆地自然区(吐鲁番)增温最为显著(0.47℃/10 a),其秋季和冬季气温倾向率分别达到了 0.59℃/10 a 和 0.76℃/

10 a。而柯坪站点日均气温增温现象最不显著,夏季为-0.22℃/10 a,秋季增温也不明显,只有 0.03℃/10 a。从表 3 和表 4 来看,焉耆冬季日最高气温倾向率为负值,柯坪夏季日最低气温也呈下降趋势(-0.22℃/10 a)。可以看出天山南坡各个自然区之间气温倾向表现差异较大,季节上则表现为冬季日最高气温增温速率较低,个别站点甚至出现下降趋势,而冬季日最低气温上升明显,日最低气温升高成为日平均气温上升的主要原因。

(4)天山巴音布鲁克自然地带



巴音布鲁克地区年均气温呈  $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  的上升趋势,秋季气温上升明显( $0.33\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ),春夏季次之,分别为  $0.17\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  和  $0.26\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,冬季气温倾向率则较低,只有  $0.12\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。日最高气温和日最低气温也同样表现出了夏秋季升温明显,冬季增温速率较低的特点。此外,巴音布鲁克日最低气温增幅( $0.24\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )略高于日平均气温增幅,除春季外,其它各个季节也表现出同样的特点,说明巴音布鲁克地区日最低气温升高对整体的增温趋势贡献较大。

## 2.2 气温变化突变分析

根据 M-K 检验并结合滑动 t 检验法确定突变时间。由图 5~7 可以看出,天山北坡和南坡、天山伊犁谷地 20 世纪 90 年代初日平均气温,日最高气温,日最低气温开始上升,在 90 年末左右发生突变,21 世纪初期超过 0.05 置信区间,气温显著上升,而巴音布鲁克地区出现突变时间则相对于其他三大自然地带略晚。此外,同一地区日最低气温发生突变年份比日平均气温、日最高气温发生时期偏早,具体来看:

### (1) 年均气温突变

从年均温 M-K 检验的  $UF_k$  趋势曲线(图 5)可

以看出,天山北坡、南坡和伊犁谷地日平均气温在 1990 年左右开始上升,在 21 世纪初时  $\alpha$  超过 0.05 的置信度,说明日平均气温显著上升。巴音布鲁克地区相较其他三个自然地带日平均气温显著上升期略晚,在 1999 年左右日平均气温开始明显上升,并在 2007 年左右超过显著性水平 0.05 临界线。根据  $UF_k$  和  $UB_k$  曲线交点位置判断,天山伊犁谷地、天山北坡和南坡、巴音布鲁克地区日平均气温分别可能在 1994 年、1995 年、1994 年、1997 年发生了突变。总体来看,天山山区从 20 世纪 90 年代初开始年均气温呈现上升趋势,在 20 世纪 90 年末 21 世纪初时候发生了突变,日平均气温显著上升。

### (2) 日最高气温突变

据图 6 分析,天山四大自然地带在 20 世纪 90 年代初日最高气温开始上升,而后出现了相对稳定的波动起伏,在 20 世纪 90 年末至 21 世纪初时发生了突变并超过 0.05 的置信度临界线,日最高气温开始显著上升。相比较而言,巴音布鲁克地区日最高气温显著升温时间和突变发生年份较其他自然地带略晚,这也和其日最高气温倾向率较低相符合,主要原因可能和它处在天山西段谷地地区以及易受西风影响有关。

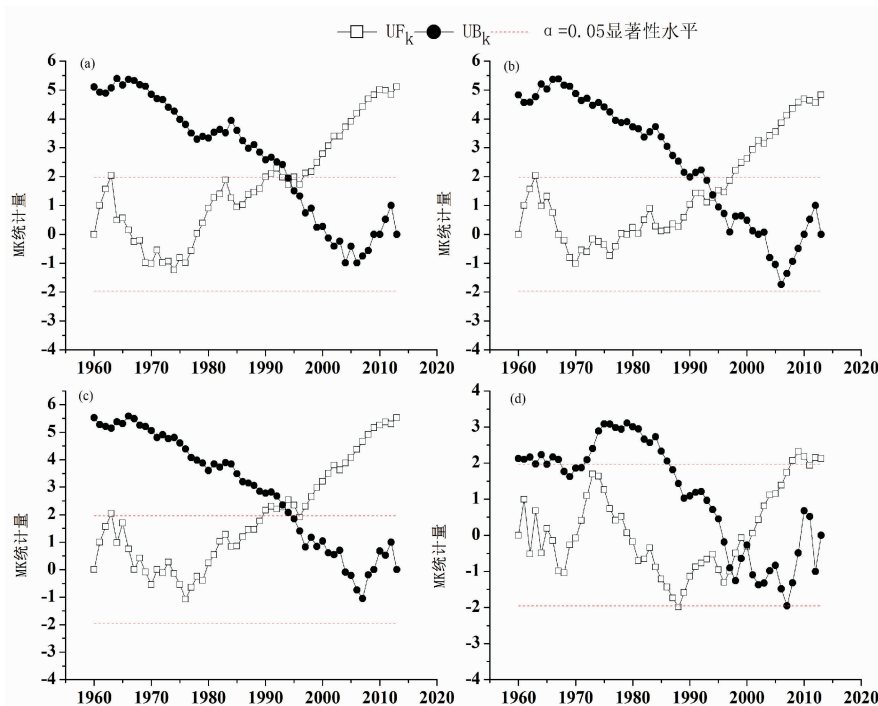


图 5 天山各自然地带日平均气温序列 Mann-Kendall 突变检验

(a. 天山谷地; b. 天山北坡; c. 天山南坡; d. 巴音布鲁克地区)

Fig. 5 Mann-Kendall tests of daily average temperature for natural zones of Tianshan Mountains

(a. Ili valley; b. North slope of Tianshan Mountain; c. South slope of Tianshan Mountain; d. Bayanbulak)

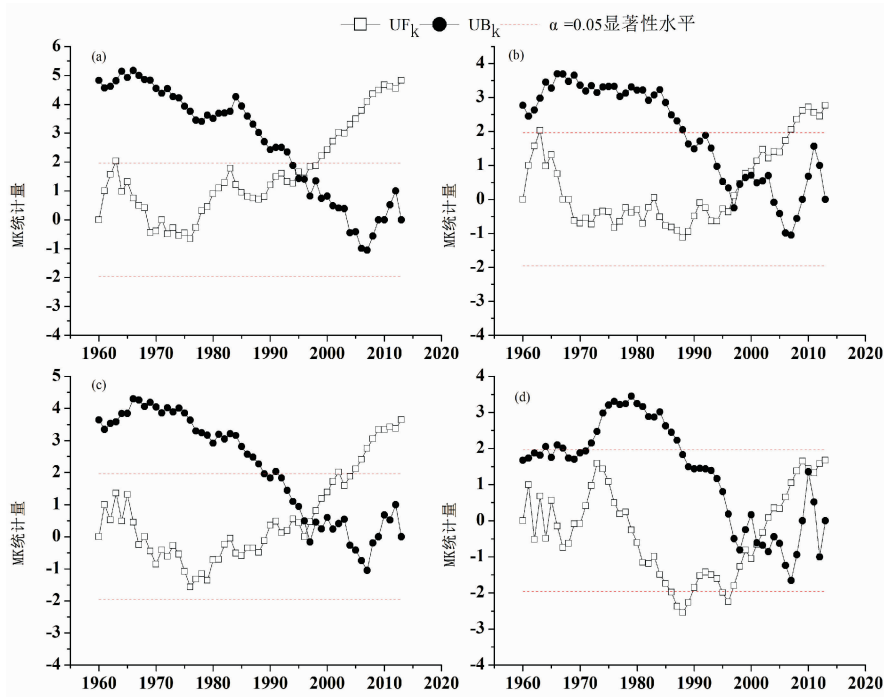


图6 天山各自然地带日最高气温序列 Mann-Kendall 突变检验  
(a. 天山谷地; b. 天山北坡; c. 天山南坡; d. 巴音布鲁克地区)

Fig. 6 Mann-Kendall tests of daily maximum temperature for natural zones of Tianshan Mountains  
(a. Ili valley; b. North slope of Tianshan Mountains; c. South slope of Tianshan Mountains; d. Bayanbulak)

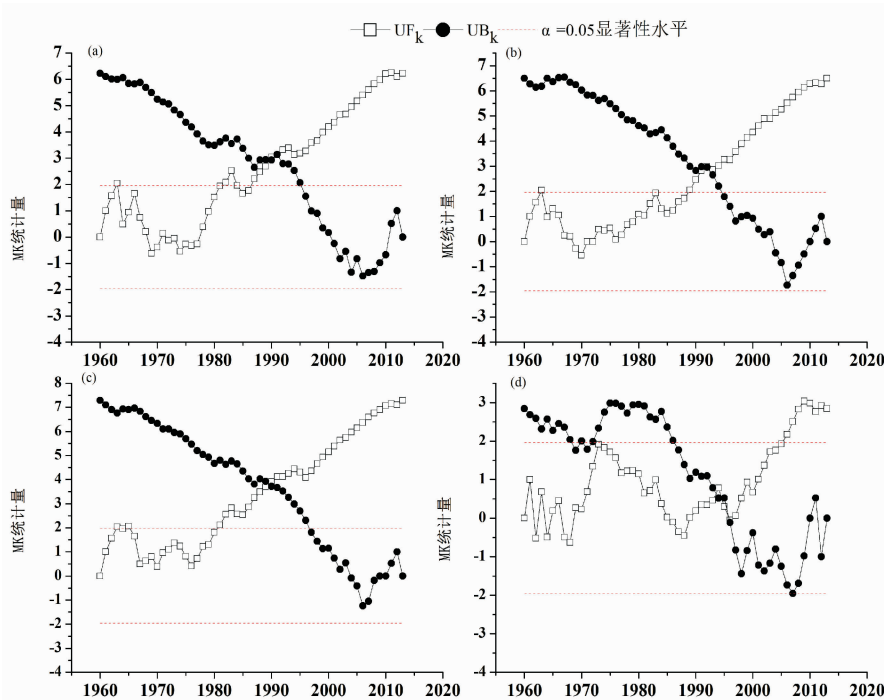


图7 天山各自然地带日最低气温序列 Mann-Kendall 突变检验  
(a. 天山谷地; b. 天山北坡; c. 天山南坡; d. 巴音布鲁克地区)

Fig. 7 Mann-Kendall tests of daily minimum temperature for natural zones of Tianshan Mountains  
(a. Ili valley; b. North slope of Tianshan Mountains; c. South slope of Tianshan Mountains; d. Bayanbulak)



(3)日最低气温突变

据图 7 分析,天山伊犁谷地、天山北坡和南坡、巴音布鲁克地区的 Ufk 曲线分别在 1979 年、1980 年、1976 年、1990 年开始超过 0,大部分在 20 世纪 90 年代发生了突变,并超过 0.05 的置信度临界线,说明日最低气温显著上升。巴音布鲁克地区则出现 Ufk 和 UBk 多个交点的情况,结合滑动 t 检验分析,确定其在 20 世纪 90 年代中期发生了气温突变,较其他地区略晚。总体来看,日最低气温显著上升开始时期比日平均气温、日最高气温开始时期早,突变年份也较早,说明天山山区日最低气温的显著上升对整个气温变化贡献明显。

2.3 气温未来变化趋势

1960—2013 年天山四大自然地带各季节及全年日平均气温、日最高气温、日最低气温均呈现上升趋势,根据 Hurst 计算结果(表 5)发现,天山伊犁谷地、天山北坡和南坡、巴音布鲁克地区日平均气温 H 值分别为 0.61、0.54、0.5、0.63。说明未来日均气温仍将升高,而天山南坡 H 值等于小于 0.5,说明未来该地区日平均气温趋势变化不明显。对比日最高气温和日最低气温 H 指数发现,天山山区日最低气温 H 指数都大于 0.5,且不同程度的高于日最高气温,这说明天山山区未来日最低气温仍将继续上升,增温趋势比日最高气温更强。

在春季,四大自然地带 H 值都大于或等于 0.5,且同一自然地带日均温、日最高温、日最低温之间差异较小,这说明未来一段时间天山山区春季气温将

继续上升。

在夏季,天山各个自然地带日平均气温 H 指数都高于 0.5,说明未来夏季日最高气温还将继续升高。对比日最高气温和日最低气温发现,伊犁谷地、天山南坡、巴音布鲁克地区日最低气温 H 指数要高于日最高气温,这说明这些地区日最低气温上升将更为明显,夏季气温日较差将减小,可能会对农业生产产生负面影响。

在秋季,天山北坡日平均气温、日最高气温、日最低气温 H 值都在 0.5 以下,这表明未来天山北坡秋季气温可能会呈现下降趋势。其余地区 H 指数都超过 0.5,说明未来气温将继续升高。

在冬季,天山北坡和巴音布鲁克地区日最低气温 H 指数略微小于 0.5,天山南坡和伊犁谷地地区则大于 0.5,此外各个自然地带日最低气温 H 指数均高于日最高气温,同时大部分地区都大于 0.5,说明未来冬季天山日最低气温相比日最高气温将会继续上升。

整体来看天山山区 Hurst 指数处于 0.44~0.66 之间,大部分地区 H 值较为接近或等于 0.5,说明这种升温或者降温持续性不强,或者说气温变化更倾向于不确定性。总的来说,未来一段时间内,天山伊犁谷地、天山南坡和巴音布鲁克气温将会继续上升,尤其是日最低气温上升会更加明显。天山北坡则相对而言秋季和冬季升温趋势将可能会放缓或者变为降温趋势。在四个季节中,结合 54 年来气温变化趋势,大部分地区未来夏季日最低气温上升将会比较明显,春季的日最高气温也将继续上升。

表 5 天山山区年际及各季节日平均气温、日最高气温、日最低气温变化的 Hurst 指数

Tab.5 Annual and seasonal Hurst index for daily average/ maximum/ minimum temperature in natural zones of Tianshan Mountains

自然区	自然地带	年际	春季	夏季	秋季	冬季
I 伊犁谷地温带荒漠自然地带	日平均气温	0.61	0.54	0.59	0.53	0.5
	日最高气温	0.59	0.54	0.5	0.51	0.51
	日最低气温	0.61	0.55	0.66	0.6	0.52
II 天山北坡中温带荒漠自然地带	日平均气温	0.54	0.55	0.58	0.49	0.44
	日最高气温	0.54	0.55	0.6	0.47	0.46
	日最低气温	0.56	0.55	0.57	0.49	0.47
III 天山南坡暖温带荒漠自然地带	日平均气温	0.5	0.5	0.62	0.55	0.54
	日最高气温	0.56	0.53	0.5	0.51	0.55
	日最低气温	0.62	0.56	0.65	0.56	0.54
IV 巴音布鲁克寒温带草原-草甸自然地带	日平均气温	0.63	0.57	0.59	0.61	0.52
	日最高气温	0.6	0.58	0.56	0.57	0.55
	日最低气温	0.61	0.56	0.62	0.59	0.49

### 3 讨论

1979—2010年来天山山区气温变化在区域上、季节上、年代上以及日最高气温和日最低气温上有明显差异。一方面这和全球变暖的大背景密切相关,20世纪90年代末期的 ENSO 事件在天山气温年际上突变得到了很好的反映<sup>[16-18]</sup>。另一方面,天山气温变化在不同自然地带、不同季节、不同温度属性的差异更多和天山本身复杂的地形和广阔的地域跨度密切相关。天山地处我国西北干旱区,受西风环流和季风的共同影响,使其气候变化情形复杂,具有独特的山地-绿洲-荒漠耦合系统<sup>[19]</sup>。此外,由于人类活动的影响,大量温室气体的排放和土地利用方式的变化也一定程度上加剧了天山整体气温变暖,而天山各自然地带城市分布、人口密度、社会发展水平不同也是导致天山气温变化区域差异的重要因素。同时,天山山区日最高气温和日最低气温增温速率上不一致,日最低气温显著升高成为日平均气温上升的主要贡献因素,这种特征反映了温室效应持续加剧的迹象<sup>[20]</sup>,由此造成气温日较差变大,这或将对新疆绿洲农业产生较大影响。

### 4 结论

(1)天山四大自然地带气温均呈现波动上升趋势,但各自然地带内部个别自然区日平均气温略微下降。四大自然地带日平均气温增温速率从大到小为伊犁谷地( $0.37\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )>天山北坡( $0.33\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )>天山南坡( $0.28\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )>巴音布鲁克( $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )。天山伊犁谷地、北坡和南坡地区、巴音布鲁克地区都表现为日最低气温增幅大于日平均气温和日最高气温。季节上天山山区冬季增温主要源于日最低气温升高,而其他季节表现不明显。

(2)天山山区年均气温自1960年以来在60年代初期偏高,随后小幅波动变化,1984—1985年期间经历了一个年均气温异常偏低的时段,而后一直在波动起伏中上升,尤其是1995年以后升温趋势更加明显,日最高气温和日最低气温也表现出同样的特点。天山北坡和南坡、天山伊犁谷地20世纪90年代初年均气温,日最高气温,日最低气温开始上升,在20世纪90年末左右发生突变,21世纪初期超过0.05置信区间,气温显著上升,而巴音布鲁克地区出现突变时间则相对于其他三大自然地带略

晚。此外,同一地区日最低气温发生突变年份较日平均气温、日最高气温发生时期偏早。

(3)未来趋势分析表明,整体上天山山区 Hurst 指数处于0.44~0.66之间,大部分地区 H 值较为接近或等于0.5说明这种升温或者降温持续性不强,或者说气温变化更倾向于不确定性。总的来说,未来一段时间内,天山伊犁谷地、天山南坡和巴音布鲁克气温将会继续上升,尤其是日最低气温上升会更加明显,天山北坡秋季和冬季升温趋势将可能会放缓或者变为降温趋势。在四个季节中,结合54年来气温变化趋势,大部分地区未来夏季日最低气温上升将会比较明显,春季的日最高气温也将继续上升。

### 参考文献(References)

- [1] 沈永平, 王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土, 2013, 35(5):1068-1076 [SHEN Yong Ping, WANG Guo Ya. Key findings and assessment results of IPCC WGI fifth assessment report [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(5):1068-1076]
- [2] 李春香, 赵天保, 马柱国. 基于 CMIP5 多模式结果评估人类活动对全球典型干旱半干旱区气候变化的影响[J]. 科学通报, 2014, 59(30):2972-2988 [LI Chunxiang, ZHAO Tianbao, MA Zhuguo. Impacts of anthropogenic activities on climate change in arid and semiarid areas based on CMIP5 models [J]. Chinese Science Bulletin, 2014, 59(30):2972-2988]
- [3] 韩添丁, 叶柏生, 焦克勤. 天山天格尔山南北坡气温变化特征研究[J]. 冰川冻土, 2002, 24(5):567-570 [HAN Tianding, YE Bosheng, Jiao Keqin. Temperature variations in the southern and northern slopes of Mt. Tianger in the Tianshan Mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24(5):567-570]
- [4] 张正勇, 刘琳, 唐湘玲. 1960—2010年中国天山山区气候变化区域差异及突变特征[J]. 地理科学进展, 2012, 31(11):1475-1484 [ZHANG Zhengyong, LIU Lin, TANG Xiangling. The regional difference and abrupt events of climatic change in Tianshan Mountains during 1960—2010 [J]. Progress in Geography, 2012, 31(11):1475-1484]
- [5] 赵培培, 张明军, 王圣杰, 等. 1960—2012年中国天山山区极端气温的变化特征[J]. 水土保持研究, 2015, 22(6):190-197 [ZHAO Peipei, ZHANG Mingjun, WANG Shengjie, et al. Changes of extreme temperature events in the Chinese Tianshan Mountains during the period from 1960 to 2012 [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015, 22(6):190-197]
- [6] 普宗朝, 张山清, 李景林, 等. 近36年新疆天山山区气候暖湿变化及其特征分析[J]. 干旱区地理(汉文版), 2008, 31(3):409-415 [PU Zongchao, ZHANG Shanqing, Li Jinglin, et al. Facts and features of climate change into warmth and damp in the Tianshan Mountains area in the recent 36 years [J]. Arid Land Geography, 2008, 31(3):409-415]
- [7] 曹亚娟, 延军平. 天山南北气候变化特征比较[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(12):92-96 [CAO Yajuan, YAN Junping.

- A comparison on characteristics of climate change in the north and south of Tianshan Mountain [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, **25**(12):92–96]
- [8] 蒲红铮, 韩添丁, 成鹏, 等. 天山南北坡流域气温时空变化特征 [J]. *高原气象*, 2015, **34**(3):753–761 [PU Hongzheng, HAN Tianding, CHENG Peng, et al. Characteristics of air temperature in the southern and northern slopes of Tianshan Mountains [J]. *Plateau Meteorology*, 2015, **34**(3):753–761]
- [9] 龚志强, 王晓娟, 支蓉, 等. 中国近 58 年温度极端事件的区域特征及其与气候突变的联系 [J]. *物理学报*, 2009, **58**(6):4342–4353 [GONG Zhiqiang, WANG Xiaojuan, ZHI Rong, et al. Regional characteristics of temperature changes in China during the past 58 years and its probable correlation with abrupt temperature change [J]. *Acta Physica Sinica*, 2009, **58**(6):4342–4353]
- [10] 何云玲, 张一平, 杨小波. 中国内陆热带地区近 40 年气候变化特征 [J]. *地理科学*, 2007, **27**(4):499–505 [HE Yunlin, ZHANG Yiping, YANG Xiaobo. Climate change in tropical area of southwestern China since 1950s [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2007, **27**(4):499–505]
- [11] 孙凤华, 袁健, 关颖. 东北地区最高、最低温度非对称变化的季节演变特征 [J]. *地理科学*, 2008, **28**(4):532–536 [SUN Fenghua, Yuan Jian, Guan Yin. Asymmetric change of maximum and minimum temperature in the northeast China from 1959–2002 [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2008, **28**(4):532–536]
- [12] 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化 [J]. *气象学报*, 1997, **55**(4):418–429 [ZHAI Panmao, REN Fumin. On changes of China's maximum and minimum temperatures in the recent 40 years [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1997, **55**(4):418–429]
- [13] 胡汝骥. 中国天山自然地理(精) [M]. 环境科学出版社, 2004:394–395 [HU Ru Ji. *Physical geography of the Tianshan Mountains in China* [M]. China Environmental Press, 2004:394–395]
- [14] 许幸芝, 李志刚, 马刚. 基于 R/S 和 Mann-Kendall 的天山北坡气候变化趋势预测 [J]. *水利科技与经济*, 2013, **19**(2):23–26 [XU Xingzhi, LI Zhigang, Ma Gang. Trend forecast of climate change in north slope of Tianshan Mountains based on the R/S and Mann-Kendall test [J]. *Water Conservancy Science and Technology and Economy*, 2013, **19**(2):23–26]
- [15] 冯新灵, 冯自立, 罗隆诚, 等. 青藏高原冷暖气候变化趋势的 R/S 分析及 Hurst 指数试验研究 [J]. *干旱区地理(汉文版)*, 2008, **31**(2):175–181 [FENG Xinlin, FENG Zili, LUO Longcheng, et al. Fractal analysis of climate change and Hurst Index experiment in Tibetan Plateau in future [J]. *Arid Land Geography*, 2008, **31**(2):175–181]
- [16] 刘永强, 丁一汇. ENSO 事件对我国季节降水和温度的影响 [J]. *大气科学*, 1995, **19**(2):200–208 [LIU Yongqiang, Ding Yihui. Reappraisal of the influence of ENSO events on seasonal precipitation and temperature in China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1995, **19**(2):200–208]
- [17] LI Lingshuang, ZHAO Jingbo. Effects of ENSO events on climates of different climate zones in northwest China since 1951 [J]. *Areal Research & Development*, 2016, **35**(04):166–171.
- [18] ZHANG Yuanyuan, LI Yan, FU Peijian, et al. Relationship between ENSO Modoki and extremely low temperature over northwest China [J]. *Journal of Lanzhou University*, 2014, **50**(01):54–58.
- [19] 王让会, 马映军, 彭茹燕. 西北干旱区山地—绿洲—荒漠系统信息传递耦合关系 [J]. *干旱地区农业研究*, 2001, **19**(2):100–105 [WANG Ranghui, MA Yingjun, Peng Ruyan. Information transmission and coupling relation in mountain-oasis-desert system in arid areas in Northwest China [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2001, **19**(2):100–105]
- [20] 王纪军, 裴铁璠, 王安志, 等. 长白山地区近 50 年平均最高和最低气温变化 [J]. *北京林业大学学报*, 2009, **31**(2):50–57 [WANG Jijun, PEI Tiefan, WANG Anzhi, et al. Changes in the mean maximum and minimum temperatures in Changbai Mountain, northeastern China in the past 50 years [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2009, **31**(2):50–57]

## Temperature Changes in Tianshan Mountains Based on Integrated Physicogeographical Regionalization

CHENG Xinyujie<sup>1,2</sup>, GAO Lu<sup>1,2,3,4\*</sup>

(1. Institute of Geography, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China;

2. College of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China;

3. Fujian Provincial Engineering Research Center for Monitoring and Assessing Terrestrial Disasters, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China;

4. State Key Laboratory of Subtropical Mountain Ecology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

**Abstract:** In this study, 14 representative meteorological stations were selected according to integrated physicogeographical regionalization of the Tianshan Mountains. The linear trend analysis, Mann-Kendall test and R/S method were used to analyze the characteristics of daily temperature changes and trends in 4 natural zones and 14 natural regions of the Tianshan Mountains from 1960–2013. The results showed that the temperature was

increasing since 1990s, especially significant since 21<sup>th</sup> century with a mutation in the late of 1990s. The temperature trend rates were different in 4 nature zones, which decreased in the order of Ili valley, the north slope of Tianshan Mountains, the south slope of Tianshan Mountains, and Bayanbulak. The daily minimum temperature increased greater than the daily average and maximum temperatures. In terms of seasons, the warmer winter was mainly due to the increasing daily minimum temperature. The temperature would continue to increase in Ili valley, the south slope of Tianshan Mountains and Bayanbulak in the future according to Hurst index. In particular, the daily minimum temperature might be more significant. The increasing minimum temperature had a significant contribution to the warming trend of daily average temperature. The warming trend was possible to slow down or decrease in north the slope of the Tianshan Mountains in autumn and winter.

**Key words:** temperature; integrated physicogeographical regionalization; daily maximum temperature; daily minimum temperature; trend; Tianshan Mountains

---

## 2008 年汶川地震震中莲花芯沟

(朝用顺 湖南科技大学)

莲花芯沟是 2008 年 5 月 12 日汶川地震的震源点。它位于四川映秀镇附近,系牛圈沟的一级支沟。2008 年 5 月 12 日,地震导致地下物质从震源向高空喷射,迅速转化为高速碎屑流撞击两侧山体,崩塌物掩埋莲花芯沟,松散物质沿程堆积至沟口震源新村。震后 10 年间莲花芯沟共爆发了 12 场大规模泥石流灾害,平均冲出量达 60 000 m<sup>3</sup>/场,产生了强烈的重力侵蚀和产沙输沙,改变了坡体、沟道、河床及流域地貌形态,是震后泥石流灾害特征与小流域重力侵蚀产沙效应研究的理想场所。

详见本期《震后小流域重力侵蚀产沙效应——以汶川震中莲花芯沟为例》一文。